



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 03 623.7  
**Anmeldetag:** 30. Januar 2003  
**Anmelder/Inhaber:** GKSS Forschungszentrum  
Geesthacht GmbH,  
21502 Geesthacht/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden  
von wenigstens zwei aneinanderliegenden  
Werkstücken nach der Methode des  
Reibrührschweißens  
**IPC:** B 23 K 20/12

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

Klostermeyer

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Max-Planck-  
Straße, 21502 Geesthacht

Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens  
zwei aneinanderliegenden Werkstücken nach der Methode  
des Reibrührschweißens

#### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken nach der Methode des Reibrührschweißens, wobei die Werkstücke einen Verbindungsbereich zwischen sich einschließen, mittels eines rotierend angetriebenen stiftartigen Vorsprungs, der bei seiner Rotation im Kontakt mit dem Verbindungsbereich der Werkstücke den Verbindungsbereich wenigstens teilweise plastifiziert, und eine Vorrichtung, mit der ein derartiges Verfahren ausgeführt werden kann.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung ähnlicher Art sind bekannt (EP-B-0 615 480). Das Reibrührschweißen, vielfach auch FSW (Friction Stir Welding) genannt, ist vom

Grundsatz her seit mehreren Jahren bekannt. Ursprünglich wurde das Reibschweißen derart ausgeführt, daß zwei Werkstücke, die miteinander durch Reibschweißung verbunden werden sollen, gegeneinander im gewünschten Verbindungsbereich bewegt werden und dabei mit einer voreinstellbaren Kraft gegeneinander gedrückt werden. Durch die Reibung entsteht Wärme, so daß mittels der Wärme letztlich eine Plastifizierung des Werkstoffs der Werkstücke in dem Verbindungsbereich erfolgt. Ist der Werkstoff ausreichend plastifiziert, kann zumindest im oberflächennahen Bereich der Verbindung eine ausreichende Durchmischung der Werkstoffe beider Werkstücke erfolgen, so daß bei Abkühlung die gewünschte Schweißverbindung zwischen den beiden Werkstücken ausgebildet wird.

Bei dem eingangs genannten Verfahren bzw. der eingangs genannten Vorrichtung wird ein stiftartiger Vorsprung von einem Antrieb bzw. einem Motor in eine geeignet große Rotation versetzt, an den Stirnbereich zweier zu verbindender, nahezu stoßartig aneinandergelegter Werkstücke angesetzt und der stiftartige Vorsprung wird geeignet geführt, was bspw. mit einer speziellen Führungsvorrichtung oder auch mit einem Roboter geschehen kann, und zusätzlich bspw. in eine Translationsbewegung längs der Stoßkanten beider zu verbindender Werkstücke versetzt. Ist nach Beginn des Schweißvorganges durch die infolge der Rotation des stiftartigen Vorsprungs mit dem Werkstoff der Werkstücke der angrenzende Werkstoffbereich erzeugte Reibungswärme mit dem Werkstoff der Werkstoff ausreichend plastifiziert, wird unter Aufrechterhaltung der Rotationsbewegung des stiftartigen Vorsprungs die Translationsbewegung längs der Stoßkante zwischen den beiden Werkstücken ausgeführt, so daß bspw. eine Längsnaht ausgebildet wird.

Darüber hinaus sind weitere Schweißverfahren bekannt, um bspw. im Kraftfahrzeugbau oder Flugzeugbau Bauteile aus Leichtmetallwerkstoffen mit Werkstoffen aus Stahl zu verbinden. Mechanische Fugeverfahren sowie Klebetechniken werden insbesondere hierfür eingesetzt, um eine punktförmige oder flächige Verbindung zwischen einem Werkstück aus Leichtmetall und einem Werkstück aus Stahl herzustellen. Reibschweißverbindungen dieser Werkstoffkombination werden bei Strukturbauteilen meist nur als Bolzenreibschweißungen ausgeführt. Die bisherigen Reibschweißverfahren sind ungeeignet, um Werkstoffe über einen längeren Abschnitt stoffschlüssig miteinander zu verbinden. Dadurch zeigen die mittels einer Reibschweißung verbundenen Werkstücke nicht die Festigkeit, die in vielen Verbindungsfällen unbedingt erforderlich ist.

Die Verwendung von Werkstücken aus Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen, wie sie bspw. im Flugzeugbau, aber auch im Kraftfahrzeugbau Verwendung finden, ist zur Ausbildung einer Schweißverbindung bei zu verbindenden Werkstücken problematisch, da Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen mit dem Sauerstoff der Umgebungsluft im Oberflächenbereich eine äußerst hinderliche Oxidschicht bildet, die einerseits einen beträchtlichen elektrischen Widerstand zwischen den zu verbindenden Werkstücken bildet und zudem in dem bei der Ausführung der Schweißverbindung entstehenden plastifizierten Bereich der Werkstücke enthalten ist, so daß Störungen aus Aluminiumoxiden in den plastifizierten Bereich der zu verbindenden Werkstücke eingelagert sind. Außerdem entstehen spröde intermetallische Phasen, da die Werkstücke unterschiedliche Schmelz- und Erstarrungspunkte besitzen.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit denen eine stoffschlüssige Verbindung zwischen zu verbindenden metallischen und auch nichtmetallischen Werkstücken auf einfache Weise möglich ist, ohne daß zusätzliche Verbindungselemente zur Ausbildung der Verbindung benötigt werden, die mit hoher Präzision und reproduzierbar auf einfache Weise angepaßt werden können, die geeignet sind, eine gasdichte Verbindung auszubilden, wobei das Verfahren und die Vorrichtung einfach ausgeführt bzw. einfach realisiert werden können soll, und wobei das Verfahren und die Vorrichtung auch zur Anwendung mit bzw. in Fertigungsrobotern geeignet sein sollen.

Gelöst wird die Aufgabe gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch, daß der stiftartige Vorsprung zur Ausführung einer Verbindung durch den sich plastifizierenden Werkstoff wenigstens des ersten zum stiftartigen Vorsprung gerichteten Werkstücks hinein bis zur Oberfläche des unteren Werkstücks bewegt wird. Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, daß eine stoffschlüssige Verbindung für eine Kombination von Werkstoffen mittels des Reibrührschweißverfahrens erzielt wird. Die Verbindung der Werkstoffe ist aufgrund unterschiedlicher Schmelzpunkte der Werkstoffe durch ein Schmelzschweißverfahren nicht herstellbar. Erfindungsgemäß ist es möglich, eine stoffschlüssige Verbindung dieser Werkstoffe auch mit einer Längsausdehnung herzustellen. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß, anders als bei den bisherigen unterschiedlichen Verfahren, zur Verbindung zweier oder mehrerer Werkstücke keine Vorbereitung des Verbindungsortes erforderlich ist. Darüber hinaus sind auch keine Verbrauchsmaterialien im Einsatz. Dadurch, daß der stiftartige Vorsprung nur bis zur Oberfläche eines unteren Werkstücks ein-

bzw. vordringt, wird unter fortlaufender Rotation des Vorsprungs eine metallisch saubere Oberfläche z.B. eines Stahlwerkstückes erreicht. Hierdurch wird eine gasdichte und auch stoffschlüssige Verbindung der aneinander grenzenden und zu verbindenden Werkstücke realisiert.

Vorteilhafterweise wird das untere Werkstück mit dem wenigstens einen darüber angeordneten Werkstück stoffschlüssig verbunden, so daß die Verbindung mit einer gewissen Festigkeit versehen wird. Durch die Rotation des Vorsprungs wird die Oberfläche des unteren Werkstücks angerauht, so daß ein lokaler Stoffschluß z.B. eines Aluminiumwerkstoffs mit einem Stahlwerkstoff erreicht wird.

Außerdem wird bei der Verwendung eines Reibschweißwerkzeugs gewährleistet, daß vorteilhafterweise die Oberfläche des unteren Werkstücks und/oder des oberen Werkstücks von Oxiden oder oxidhaltigen Verbindungen befreit werden, so daß störende bzw. hinderliche Oxidschichten entfernt werden und die Verbindung zwischen den zu verbindenden Werkstoffen verbessert wird. Außerdem wird der elektrische Widerstand bspw. bei der Verbindung eines Aluminiumwerkstoffs mit einem Stahlwerkstoff erniedrigt. Es ist ebenso möglich, daß die Oberfläche des oberen Werkstückes gereinigt wird.

Wenn der stiftartige Vorsprung entlang eines Verbindungsbereiches bewegt wird, wird über einen längeren Abschnitt eine dauerhafte Verbindung der Werkstücke erreicht. Somit werden über eine bestimmte Länge die Werkstücke dauerhaft und mit einer höheren Festigkeit verbunden. Im Rahmen der Erfindung ist es selbstverständlich, daß eine Relativbewegung zwischen dem Verbindungsbereich und dem stiftartigen Vorsprung ausge-

führt wird, wobei es möglich ist, daß der stiftartige Vorsprung bewegt wird oder die Werkstücke bezüglich eines ortsfesten Vorsprungs bewegt werden.

Eine Verbesserung der Verbindung wird dadurch erreicht, daß der sich plastifizierende Werkstoff mit Druck beaufschlagt wird, so daß nach Abkühlung des Werkstoffs das untere Werkstück mit den darauf angeordneten Werkstücken verbunden ist.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß der Druck mittels einer Schulter des stiftartigen Vorsprungs erzeugt wird.

Die Festigkeit der Verbindung der Werkstücke wird noch erhöht, wenn die Werkstücke formschlüssig miteinander verbunden werden. Zur Festigkeit der Verbindung tragen somit nicht nur der Stoffschluß bei, sondern auch der zusätzlich erfindungsgemäße Formschluß, so daß die Fügegeometrie bestimmter Werkstücke berücksichtigt wird.

Insbesondere wird der Formschluß der Werkstücke durch Einbringen des sich plastifizierenden Werkstoffs in wenigstens eine Ausnehmung des unteren Werkstücks ausgebildet.

Die Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei aneinander liegenden Werkstücken nach der Methode des Reibrührschweißens ist dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung im wesentlichen längs seiner Drehachse, durch den sich plastifizierenden Werkstoff wenigstens eines ersten zum stiftartigen Vorsprung gerichteten Werkstücks bis zur Oberfläche eines unteren Werkstücks bewegbar ist. Das Wesentliche und Erfindungsgemäße der Vorrichtung besteht darin, daß die Vorrich-

tung derart ausgebildet ist, daß der stiftartige Vorsprung nicht alle Werkstücke, die miteinander verbunden werden sollen, durchdringt. Vielmehr ist die Endringtiefe des stiftartigen Vorsprungs so eingestellt bzw. eingerichtet, daß der stiftartige Vorsprung mindestens einen Werkstoff vollständig durchdringt, während der Vorsprung nach Durchdringen lediglich die Oberfläche des darunter liegenden Werkstücks berührt. Die Vorteile, die durch die erfindungsgemäße Vorrichtung erreicht werden, entsprechen im wesentlichen den Vorteilen, die im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Verfahrenslösung genannt worden sind.

Vorteilhafterweise entspricht die Länge des stiftartigen Vorsprungs im wesentlichen der Dicke des wenigstens einen oberhalb des unteren Werkstücks anliegenden Werkstücks. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß der stiftartige Vorsprung in das untere Werkstück nicht eindringt.

Um den plastifizierten Werkstoff gut mit dem unteren Werkstück, in den der Vorsprung nicht eingedrungen ist, zu verbinden, ist vorteilhafterweise der stiftartige Vorsprung auf einer Schulter angeordnet. Mittels der Schulter kann Druck ausgeübt werden auf den plastifizierten Werkstoff.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß der stiftartige Vorsprung und/oder die Schulter mit einer Verschleißschicht versehen sind, so daß die Vorrichtung zuverlässig die Verbindung der Werkstücke herstellt. Die Verschleißschicht z.B. aus Diamant oder einem anderen Hartstoff erhöht die Lebensdauer und die Handhabung der Vorrichtung.



Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die nachfolgenden schematischen Zeichnungen anhand eines Ausführungsbeispielen eingehend beschrieben. Darin zeigen:

Fig. 1a -

Fig. 1c schematisch einzelne Verfahrensschritte zur Verbindung zweier Werkstücke und

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch eine hergestellte Verbindung.

In den Figuren 1a bis 1c sind die Verfahrensschritte zur Ausbildung einer Verbindung zwischen zwei Werkstücken 13, 14 im Querschnitt schematisch dargestellt. Das Werkstück 13 wird in einer Ausfräsung 15 des Werkstücks 14 angeordnet. Das Werkstück 14 verfügt ferner in der Ausfräsung 15 über Nuten 16 (Fig. 1a).

Nach Platzierung des Werkstücks 13 auf dem Werkstück 14 in der Ausfräsung 15 wird ein Werkzeug 10 zum Reibschweißen von der Seite des Werkstoffs 13 zugeführt. Das Werkzeug 10 verfügt an der antriebsseitigen Spitze über einen Vorsprung 11, der auf einer Schulter 12 des Werkzeugs 10 angeordnet ist (Fig. 1b).

Unter Rotation und Ausübung einer axialen Kraft wird zwischen dem Werkzeug 10 bzw. dessen Vorsprung 11 und dem Werkstück 13 Reibungswärme erzeugt, die den Werkstoff 13 lokal plastifiziert und das Eindringen des Vorsprungs 11 ermöglicht. Wenn der Vorsprung 11 das Werkstück 13 durchdrungen hat, berührt es die Oberfläche des Werkstoffs 14. Durch das Schweißwerkzeug 10 wird das Werkstück 13 z.B. aus Aluminium, lokal plastifiziert und durch den Druck des Werkzeugs mittels der Schulter 12 in die Nuten 16 gepreßt (Fig. 1c). Die Schulter 12 des

Werkzeugs 10 erzeugt aufgrund der ausgeübten axialen Kraft einen Druck in dem plastifizierten Werkstoff des Werkstücks 13. Anschließend wird das Schweißwerkzeug 10 einen vorbestimmten Verbindungsbereich entlang bewegt.

Durch das Reiben des Vorsprungs 10 wird zusätzlich die Oberfläche der Aussparung 15, auf der das Werkstück 13 anliegt, durch das Reiben des Vorsprungs 11 von Oxiden befreit, so daß eine gasdichte Verbindung zwischen den Werkstücken 13 und 14 ausgebildet wird. Durch das Eindringen von plastifiziertem Werkstoff in die Nuten 16 unter Druck wird ein zusätzlicher Formschluß erzielt, so daß dieses Verklammern bzw. dieser Formschluß zu einer Erhöhung der Verbindungsfestigkeit zwischen den verbundenen Werkstücken führt.

Es hat sich gezeigt, daß das erfindungsgemäße Verfahren unter Anwendung der Methode des Reibrührschweißens für die Herstellung einer Verbindung von Leichtmetall- und Stahlwerkstoffen eingesetzt werden kann, da durch das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung einfach eine stabile und feste Verbindung erreicht wird.

In Fig. 2 ist ein Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Verbindung der Werkstücke 13 und 14 im Detail gezeigt. Durch das Einbringen des plastifizierten Werkstoffs in die Nuten 13 wird ein Formschluß des Werkstücks 13 mit dem Werkstück 14 erreicht. Zusätzlich ist im Steg 17 zwischen den beiden Nuten 16 ein Stoffschluß der beiden Werkstücke 13, 14 ausgebildet.

Bezugszeichenliste

- 10 Werkzeug
- 11 Vorsprung
- 12 Schulter
- 13 Werkstück
- 14 Werkstück
- 15 Ausfräsung
- 16 Nut
- 17 Steg

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Max-Planck-Straße, 21502 Geesthacht

Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken nach der Methode des Reibrührschweißens

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken (13, 14) nach der Methode des Reibrührschweißens, wobei die Werkstücke (13, 14) einen Verbindungsbereich zwischen sich einschließen, mittels eines rotierend angetriebenen stiftartigen Vorsprungs, der bei seiner Rotation in Kontakt mit dem Verbindungsbereich der Werkstücke (13, 14) den Verbindungsbereich wenigstens teilweise plastifiziert, dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung (11) zur Ausführung einer Verbindung durch den sich plastifizierenden Werkstoff wenigstens des ersten zum stiftartigen Vorsprung (11) gerichteten Werkstücks (13) hinein bis zur Oberfläche eines unteren Werkstücks (14) bewegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1; dadurch gekennzeichnet, daß das untere Werkstück (14) mit dem darüber angeordneten Werkstück (13) stoffschlüssig verbunden wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des unteren Werkstücks (14) und/oder des oberen Werkstückes (13) von Oxiden oder oxidhaltigen Verbindungen befreit werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung (11) entlang des Verbindungsbereiches bewegt wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der sich plastifizierende Werkstoff mit Druck beaufschlagt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck mittels einer Schulter (12) des stiftartigen Vorsprungs (11) erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (13, 14) formschlüssig verbunden werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Formschluß der Werkstücke (13, 14) durch Einbringen des sich plastifizierenden Werkstoffs in wenigstens einer Ausnehmung (16) des unteren Werkstücks (14) ausgebildet wird.

9. Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken (13, 14) nach der Methode des Reibrührschweißens, wobei die Werkstücke (13, 14) dabei

einen Verbindungsbereich zwischen sich einschließen, umfassend eine rotierend antreibbare Achse, an deren antriebsabgewandtem Ende ein stiftartiger Vorsprung (11) ausgebildet ist, der bei seiner Rotation in Kontakt mit dem Verbindungsbereich der Werkstücke (13, 14) den Verbindungsbereich wenigstens teilweise plastifiziert, dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung (11) im wesentlichen längs seiner Drehachse durch den sich plastifizierenden Werkstoff wenigstens eines ersten zum stiftartigen Vorsprung gerichteten Werkstücks (13) bis zur Oberfläche eines unteren Werkstücks (14) bewegbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des stiftartigen Vorsprungs (11) im wesentlichen der Dicke des wenigstens einen oberhalb des unteren Werkstücks (14) anliegenden Werkstücks (13) entspricht.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung (11) auf einer Schulter (12) angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der stiftartige Vorsprung (11) und/oder die Schulter (12) mit einer Verschleißschicht versehen sind.

gr/mk

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Max-Planck-Straße, 21502 Geesthacht

Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken nach der Methode des Reibrührschweißens

Zusammenfassung

(in Verbindung mit Fig. 1b)

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung (10) zum Verbinden von wenigstens zwei aneinanderliegenden Werkstücken (13, 14) nach der Methode des Reibrührschweißens vorgeschlagen, wobei die Werkstücke einen Verbindungsbereich zwischen sich einschließen, umfassend mittels eines rotierend angetriebenen stiftartigen Vorsprungs (11), der bei seiner Rotation in Kontakt mit dem Verbindungsbereich der Werkstücke (13, 14) den Verbindungsbereich wenigstens teilweise plastifiziert. Der stiftartige Vorsprung ist im wesentlichen längs seiner Drehachse durch den sich plastifizierenden Werkstoff wenigstens eines ersten zum stiftartigen

Vorsprung (11) gerichteten Werkstücks (13) bis zur Oberfläche eines unteren Werkstücks (14) bewegbar.



FIG. 1a

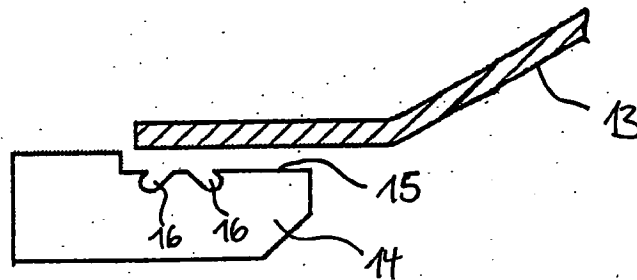


FIG. 1b

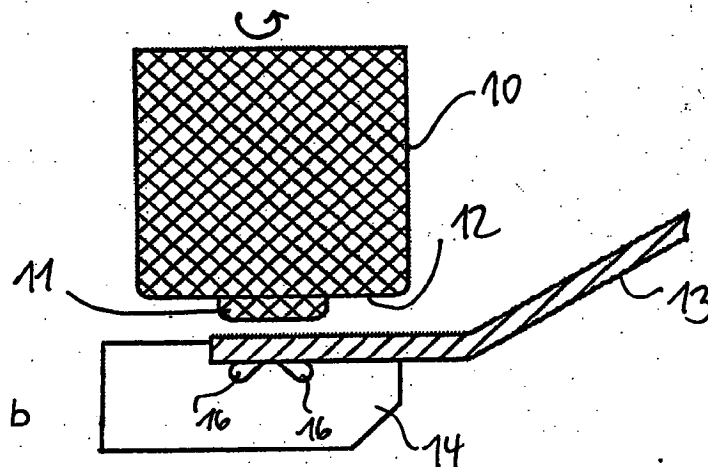
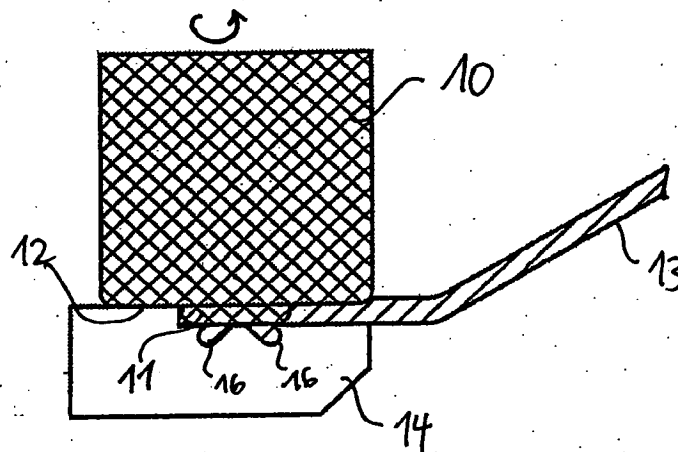


FIG. 1c



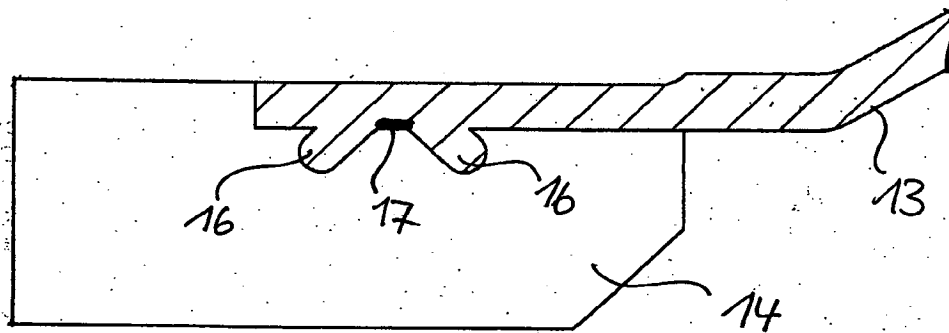


FIG. 2

